

GENETIČKI RESURSI U OPLEMENJIVANJU KUKURUZA**

Violeta Anđelković^{*1}, Vojka Babić¹ i Natalija Kravić¹

Izvod

Pšenica, pirinač i kukuruz su tri najznačajnije žitarice u svetu, ali se procenjuje da će se do 2025. godine kukuruz najviše proizvoditi. Konzervacija germplazme kukuruza predstavlja glavni izvor poželjnih gena koji mogu poslužiti za povećanje obima i kvaliteta proizvodnje kukuruza, a time i hrane za ljude i životinje. Dominantna strategija za konzervaciju kukuruza je *ex-situ* (čuvanje uzoraka semena u bankama gena). Više od 130 000 uzoraka kukuruza, tj. oko 40% od ukupnog broja, nalazi se u deset najvećih banaka gena u svetu, a banka gena Instituta za kukuruz Zemun Polje (MRIZP), sa oko 6000 uzoraka je jedna od njih. Organizovano kolekcionisanje započeto je u bivšoj Jugoslaviji 1961. godine, i do danas je sakupljeno i čuva se više od 2000 uzoraka lokalnih populacija kukuruza. Predoplemenjivačke aktivnosti, koje se odnose na identifikaciju poželjnih svojstava u neadaptiranoj germplazmi u banci gena, rezultiraju u materijalu za koji se očekuje da bude uključen u oplemenjivačke programe. Uspešni primeri su LAMP, GEM i GENRES projekti. Krajem XX veka, u MRIZP banci gena, preduzete su predoplemenjivačke aktivnosti, formirane su *eco-core* i *elite-core* kolekcije, i odabrane su populacije koje su ispunile potrebne kriterijume. U prethodnoj deceniji, kolekcija banke gena korišćena je za identifikaciju izvora tolerantnosti na sušu i poboljšanje kvaliteta zrna. Na osnovu agronomskih osobina i opšte kombinacione sposobnosti, formirane su dve *mini-core* kolekcije koje su već uključene u programe oplemenjivanja.

Ključne reči: konzervacija i korišćenje BGR, jezgrovnice kolekcije, predoplemenjivnje, *Zea mays* L.

Značaj kukuruza

Prema staroj Indijanskoj legendi „kukuruz je bio hrana Bogova koji su stvorili Zemlju“. Njegov značaj je veliki i danas, jer je pored pšenice i pirinča, najznačajnija žitarica u svetu. Proizvodi se u više od 160 država, zahvaljujući ogromnoj genetičkoj varijabilnosti. Može se gajiti u područjima od

ekvatora do 50° severne i južne geografske širine, kao i u predelima na preko 3000m nadmorske visine, sa dužinom vegetacionog perioda od tri do 13 meseci.

Globalno, u 2016/2017. godini, najviše je proizvedeno kukuruza (1049 miliona metričkih tona), a značajno manje pšenice (751 milion metričkih tona) i pirinča (480 mil

Pregledni rad (Review Paper)

¹ Anđelković A, Babić V, Kravić N, Institut za kukuruz "Zemun Polje", Slobodana Bajića 1, 11185 Zemun Polje

*e-mail: avioleta@mrizp.rs

** Rad je usmeno izložen na skupu "Genetički resursi u poljoprivredi i šumarstvu", 1.11.2017. u Beogradu, u organizaciji Академије инжењерских наука Србије – АИНС, www.ains.rs

met tona), dok su najveće zasejane površine bile pod pšenicom (220,8 mil ha), kukuruzom (179,6 mil ha) i pirinčem (161,1 mil ha) (www.statista.com). Veliki ekonomski značaj kukuruza je zbog njegove primarne upotrebe (oko 78% ukupne svetske proizvodnje) za ishranu životinja, ali se koristi i u ljudskoj ishrani, prvenstveno u zemljama u razvoju. U pod-Saharskoj Africi i Latinskoj Americi, kukuruz je najznačajnija žitarica za ishranu ljudi. Prema procenama (Ortiz et al., 2010) potrebe za kukuruzom za ljudsku ishranu biće u stalnom porastu do 2020. godine, čak će i prevazići potrebe za pšenicom i pirinčem. U razvijenim zemljama, koristi se u prehrambenoj industriji (za proizvodnju griza, brašna, zaslađivača, kukuruznog ulja, skroba, kao i za dobijanje alkohola i viskija). Cela biljka se upotrebljava za silažu i kao sirovina u farmaceutskoj industriji, a poslednjih desetak godina sve više i za proizvodnju bio-goriva.

Pored toga, kukuruz ima veoma značajnu ulogu i u sferi naučnih istraživanja: primena novih tehnika i metoda u identifikaciji gena i njihove funkcije, kao i primena genomike, doprineće zadržavanju vodeće pozicije kukuruza u genetičkim istraživanjima (Tabata et al., 2004). Vodeća uloga kukuruza zasniva se njegovoj ogromnoj varijabilnosti u morfološkim osobinama i izuzetnom polimorfizmu DNK sekvenci (Matsuoka et al., 2002). U poređenju sa diverzitetom ljudi, diverzitet kukuruza je 20 puta veći, tako da je razlika između dve inbred linije kukuruza na nivou razlike čoveka od šimpanze (Buckler i Stevens, 2006).

Tokom domestifikacije, birane su biljke koje su odgovarale potrebama ljudi čime se sužavao ogroman diverzitet kukuruza. Tome je naročito doprinelo uvođenje prinostnijeg hibridnog kukuruza u proizvodnju stvorenog u procesu selekcije i oplemenjivanja tokom

XX veka, umesto lokalnih populacija i sorti. Međutim, to je dovelo i do značajnog smanjenja diverziteta, tako da se kod kukuruza u komercijalnoj upotrebi nalazi svega do 5% raspoložive germplazme (Carena et al., 2009). Kako bi se sprečila genetička erozija, tj. gubitak pojedinačnih gena i njihovih kombinacija, kao i dalje sužavanje diverziteta, u drugoj polovini XX veka započeto je organizovano sakupljanje i kolekcionisanje lokalnih sorata i varijeteta kukuruza, kao i formiranje banaka gena u kojima će se uzorci čuvati (Bragdon, 2004).

Banke gena

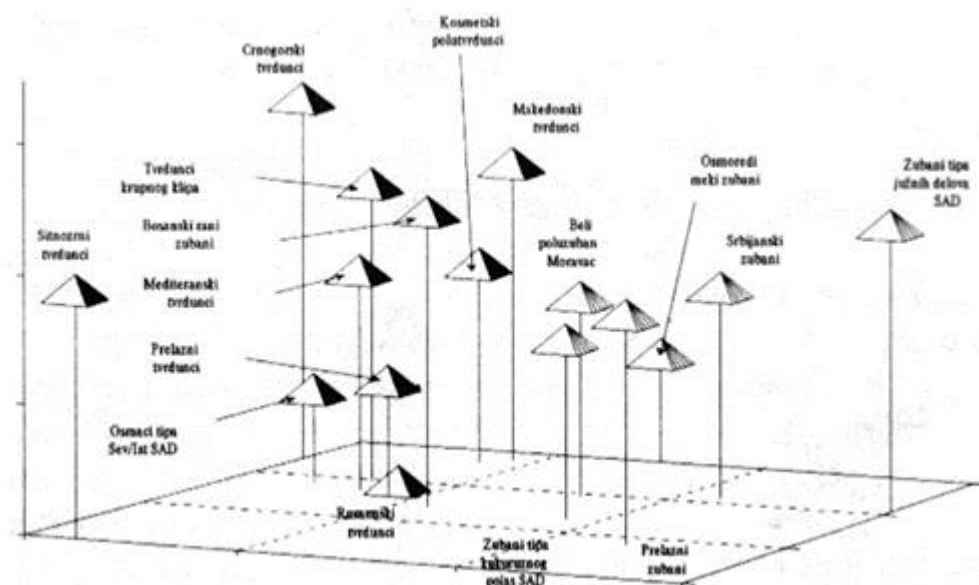
Za čuvanje kukuruza u bankama gena, primenjuju se dve strategije: *ex-situ*-sakupljanje uzoraka iz njihovih prirodnih staništa za čuvanje van tih područja, u bankama gena, i *in-situ*- koje obuhvata održavanje vitalnosti uzoraka gajenjem u uslovima gde su razvili svoja karakteristična svojstva. Kod kukuruza su danas dominantnije *ex-situ* kolekcije, koje obuhvataju lokalne populacije (tradicionalno gajene), poboljšane populacije (sintetike, cikluse selekcije), inbred linije, referentne hibride, kao i divlje srodnike. U bankama gena su najbrojnije lokalne populacije, među kojima većina nije detaljno karakterisana, što predstavlja glavni problem u njihovom širem korišćenju. Međutim, njihov značaj u savremenoj poljoprivredi je sve veći, pa je sve više aktivnosti usmereno na njihovo kolekcionisanje i proučavanje sa primarnim ciljem inkorporacije njihovih pozitivnih osobina u nove genotipove, posebno kao odgovor na aktuelne klimatske promene. Povećan interes za populacijama je posledica modernog oplemenjivanja, koje je dovelo do sužavanja genetičke osnove, stagnacije prinosa u uslovima koji nisu optimalni, kao i potrebe selekcije genotipova čiji prinos neće zavisiti od gustine gajenja i intenziteta primenjene agrotehnike. Razlika genetički heterogenih

populacija i visoko homozigotnih genotipova je u tome što u populacijama postoji genetička kompeticija između biljaka, dok su moderni kultivari toga lišeni, što može biti ogromna prednost za tolerantnost prema klimatskim promenama. Srećom, najveći deo veoma dragocenog diverziteta kukuruza sačuvan je u bankama gena širom sveta. Prema podacima FAO (2010), u oko 300 banaka gena kukuruza nalazi se 327 932 uzoraka, dok je procena broja jedinstvenih populacija između 58 000 i 80 000. Postojanje tolikog broja populacija nije posledica povećane produktivnosti, već povećanja stabilnosti, ostvarene kroz generacije prirodne selekcije i pažljivog odabiranja na značajna svojstva otpornosti/tolerantnosti na biotički i abiotički stres i inter-genotipsku kompeticiju i kompenzaciju (Almekinders et al., 1994).

Banka gena Instituta za kukuruz "Zemun Polje" nalazi se među deset najvećih u svetu (FAOSTAT, 2010). Ona obuhvata kolekciju od 2217 populacija sakupljenih na prostoru bivše Jugoslavije, kao i 3258 introdukovanih inbred linija, sintetika i kompozita iz 40 zemalja. Prvo organizovano sakupljanje lokalnih populacija kukuruza bilo je u periodu od 1961. do 1965. godine i finansirano je od strane Jugoslovenskog saveznog udruženja istraživača i Ministarstva za poljoprivredu SAD (*United States Department of Agriculture-USA*). U njemu su učestvovali, pored Instituta za kukuruz Zemun Polje i drugi instituti i fakulteti: Institut za poljoprivredna istraživanja iz Novog Sada, Biotehnički fakultet iz Ljubljane, Poljoprivredni fakultet iz Zagreba, Institut za oplemenjivanje i proizvodnju biljaka iz Zagreba, Poljoprivredni institut iz Osijeka, Institut za istraživanja u poljoprivredi iz Banja Luke, i Poljoprivredni fakultet iz Urbane, SAD. U to vreme, sakupljeno je oko 1000 lokalnih populacija koje su podeljene u

16 morfo-genetički različitih grupa, pomoću metoda prirodne klasifikacije po Andersonu i Cutleru, koji je kasnije primenjen i za klasifikaciju kukuruza u Centralnoj i Južnoj Americi, kao i u južnoj i jugoistočnoj Evropi. Prvu klasifikaciju kukuruza na osnovu 17 morfoloških i bioloških osobina su uradili dr Jelena Pavličić i dr Vladimir Trifunović, a u narednim godinama je urađena i analiza naknadno sakupljenih uzoraka, tako da su konačnom podelom svi uzorci klasifikovani u 18 agroekoloških grupa/rasa (Anđelković and Ignjatović-Mićić, 2012; Babić i sar., 2012a). Svaka grupa se karakterisala nekim specifičnim naslednim osobinama, različitim od drugih populacija i posebnim za spoljašnju sredinu u kojoj je kolekcionisana, pa su tako i dobile nazive: 1. crnogorski tvrdunci, 2. bosanski rani zubani, 3. kosmetki poluzubani, 4. makedonski tvrdunci, 5. osmaci tipa severoistočne Amerike, 6. prelazni tvrdunci, 7. mediteranski tvrdunci, 8. sitnozrni tvrdunci, 9. osmoredi meki zubani, 10. rumunski tvrdunci, 11. dugoklipi tvrdunci, 12. beli poluzuban-Moravac, 13. zubani tipa kukuruznog pojasa SAD, 14. prelazni zubani, 15. zubani tipa južnih predela SAD, 16. srbijanski zubani, 17. tvrđi zubani, 18. meki tvrdunci (Graf. 1).

Od 1991. godine, uzorci lokalnih populacija se opisuju po CIMMYT/IBPGR deskriptoru, na osnovu koga je urađena reklasifikacija uzoraka 1997. godine, primenom konkurentne analize, kojom je potvrđena validnost originalne prirodne klasifikacije. Sve lokalne populacije sa prostora bivše Jugoslavije razvrstane su u 16 glavnih i dve izvedene grupe (Radović et al., 2000). U narednim decenijama, nastavilo se sa kolekcionisanjem lokalnih populacija na našim prostorima, ali je intenzivirana i razmena uzoraka sa bankama gena širom sveta, tako da je, danas ukupan broj uzoraka oko 6000.



Grafikon 1. Klasifikacija lokalnih populacija kukuruza sa prostora bivše Jugoslavije (Radović et al., 2000)
Figure 1. Classification of local maize landraces from ex-Yugoslavian territory (Radović et al., 2000)

Predoplemenjivanje

Predoplemenjivanje (*pre-breeding*) predstavlja vezu između genetičkih resursa i oplemenjivanja. Obuhvata introdukciju, adaptaciju, evaluaciju i poboljšanje germplazme koja će se koristiti u određenim oplemenjivačkim programima. Predoplemenjivanje se zasniva na svim aktivnostima u cilju identifikacije poželjnih svojstava i/ili gena iz neadaptiranog materijala, uključujući i adaptiranu germplazmu na kojoj nije rađena popravka željenih svojstava kroz selekciju i oplemenjivanje. Ovaj koncept je dugotrajan proces, čiji cilj nije dobijanje novih sorata/hibrida, već stvaranje germplazme koja će moći da se uključi u oplemenjivanje, direktno ili indirektno, za dobijanje novih genotipova (Nass i Paterniani, 2000). Tim

aktivnostima poboljšavaju se informacije o uzorcima koji se čuvaju u bankama gena, povećava se upotrebljivost za oplemenjivače i smanjuje jaz koji postoji između genetičkih resursa i oplemenjivačkih programa kod kukuruza. Veoma uspešne predoplemenjivačke aktivnosti na kukuruзу ostvarene su kroz projekte LAMP (*Latin American Maize Project*), GEM (*Germplasm Enhancement of Maize*) i GENRES.

LAMP je prvi koordinisani internacionalni projekat na genetičkim resursima kukuruza. To je bio petogodišnji projekat (1987-1992) u kome su učestvovalе SAD i 11 država Latinske Amerike (Salhuana et al., 1997; Salhuana, 1998). Glavni zadatak ovog projekta bio je evaluacija agronomskih svojstava kod 14 000 uzoraka iz banaka gena

u SAD i Latinskoj Americi, radi identifikacije najboljih za potrebe oplemenjivanja. Na kraju projekta odabrano je 268 elitnih uzoraka, na osnovu ocene 17 svojstava, uključujući i prinos, kod ukrštanja uzoraka sa testerima, na više lokaliteta u državama učesnicama projekta. Pored toga, značaj LAMP projekta je i što je omogućeno precizno određivanje statusa uzoraka kukuruza u bankama gena (količina i kvalitet semena, identitet uzoraka koje je potrebno regenerisati, njihova adaptabilnost i performanse, agronomska svojstva, otpornost na bolesti i insekte).

GEM projekat je započet 2010. godine i uključio je oko 60 državnih, privatnih i nevladinih organizacija u cilju proširenja germplazme kukuruza koja se može koristiti u oplemenjivanju (Pollak, 2003). Ukupno 51 uzorak, koji je bio odabran kroz LAMP projekat, bio je primarni izvor egzotične germplazme za GEM. Cilj ovog projekta bio je efikasno povećanje diverziteta germplazme kukuruza u SAD, uključujući nove izvore, koja će biti dostupna svim istraživačima kroz NCRPIS (*North Central Regional Plant Introduction Station*).

EU GENRES je projekat koji je trajao od 1997-2002. godine, tokom kog je formirana evropska kolekcija populacija kukuruza (*European Maize Landraces Core Collection-EMLCC*) (Gousnard et al., 2005). Tokom projekta je izvršena karakterizacija 2 899 lokalnih populacija kukuruza iz Francuske, Nemačke, Grčke, Italije, Španije i Portugalije, a zatim su, za svaku državu, formirane reprezentativne nacionalne kolekcije, koje su analizirane molekularnim markerima. Rezultat projekta je bila kolekcija od 96 uzoraka, koja je bila ocenjena i na tolerantnost prema suši, niskom sadržaju azota i insektima, kvalitet zrna i svojstva značajna za kvalitet silaže.

Jezgrovne (*Core*) kolekcije

Core kolekcija predstavlja set uzoraka u kom je, uz minimalna ponavljanja, zastupljen genetički diverzitet određene vrste i njenih divljih srodnika (Frankel, 1984). Globalnim planom akcije za konzervaciju i održivo korišćenje biljnih genetičkih resursa za hranu i poljoprivredu (*Global Plan of Action for the Conservation and Sustainable Utilization of Plant Genetic Resources for Food and Agriculture-PGRFA*), usvojenim 1996. godine, preporučeno je formiranje *core* kolekcija, u cilju povećanja upotrebe biljnih genetičkih resursa. Takve kolekcije ne bi trebalo da sadrže više od 10% reprezentativnih uzoraka iz cele kolekcije čime bi se sačuvalo oko 70% alela (Brown, 1989). U procesu formiranja *core* kolekcije, najznačajnija je faza stratifikacije, koja predstavlja razdvajanje uzoraka u grupe, pri čemu je potrebno zadržati maksimalnu varijabilnost između grupa, a minimalnu unutar njih. Podelom na manje grupe, sve dok je to moguće, tj. dok one ne postanu homogene, završava se faza identifikacije najboljih uzoraka koji u sebi sadrže poželjne agronomске osobine. Sledeći korak je unošenje tih svojstava u elitne genotipove.

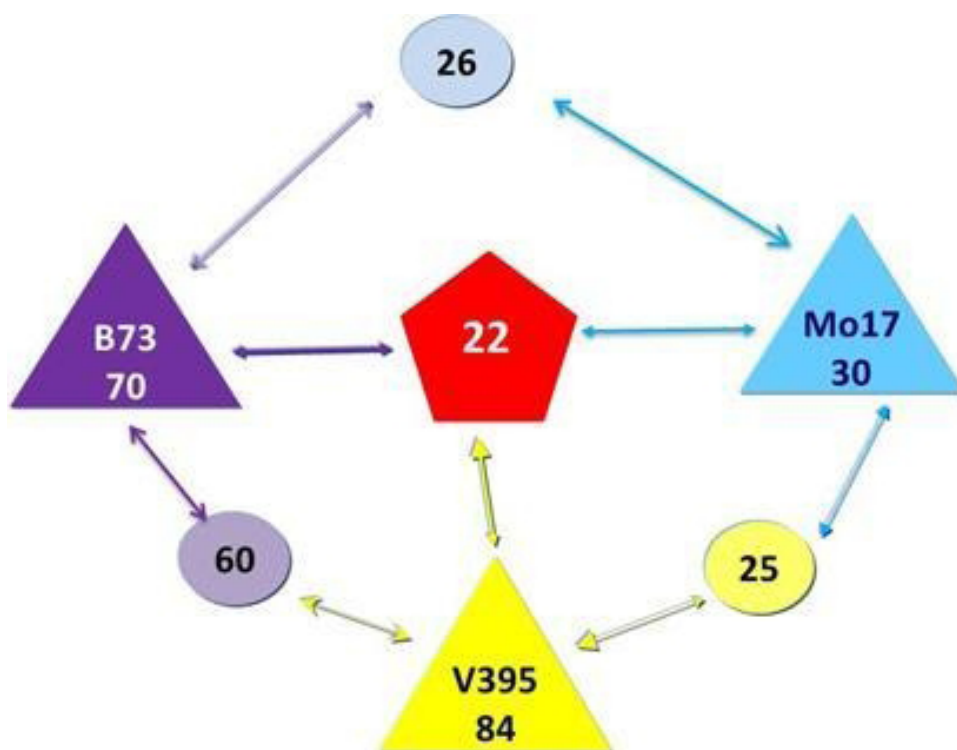
Kod kukuruza je formirano nekoliko *core* kolekcija u različitim regionima sveta: kolekcija uzoraka sa Kariba iz CIMMYT-ove (*International Centre for Maize and Wheat Improvement*) banke gena (Taba et al., 1998), lokalnih populacija iz Urugvaja (Malosetti i Abadie, 2001) i kineskih populacija (Li et al., 2004).

Lokalne populacije su veoma značajne zbog adaptiranosti na određene uslove gajenja, ali sadrže i nepoželjna svojstva, što zahteva višegodišnji rad na njihovoj popravci. U banci gena Instituta za kukuruz Zemun Polje devedesetih godina XX veka započete su predoplemenjivačke aktivnosti, a njihov

rezultat je formiranje *eco-core* i *elite-core* kolekcija (Radović i Jelovac, 1995; Radović et al., 2000).

Formiranje *eco-core* kolekcije zasnovano je na eko-geografskoj varijabilnosti lokalnih populacija. Odabrano je reprezentativnih 20% uzoraka iz svake od 18 agro-ekoloških grupa, sa ciljem da taj set posluži kao izvor svojstava karakterističnih za tu grupu. Na primer, set odabranih uzoraka iz grupe Crnogorski tvrducci, može se koristiti kao donor ranostasnosti, za zrno tipa tvrducca, niže biljke, dobar rani vigor i tolerantnost na niske temperature.

Kriterijum za formiranje *elite-core* kolekcije bila je kombinaciona sposobnost, koja je utvrđena za 900 lokalnih populacija FAO grupe zrenja 500-700. Na osnovu performansi njihovih ukrštanja sa tri različita testera (Mo17, B73 i V395/31), izdvojene su grupe populacija koje su ispoljile visok heterozis sa pojedinačnim testerima. Među njima, 22 poulacije su bile "univerzalni kombinatori", tj. imale su dobre performanse sa sva tri testera (Graf. 2) Sličan princip primenjen je i kod ukrštanja 564 rane i srednje-rane populacije sa testerima F2 i Polj17.



Grafikon 2. Rezultati ukrštanja 900 lokalnih populacija FAO 500-700 sa tri različita testera (Mo17, B73 i V395/31)

Figure 2. Results of test-crosses of 900 local maize landraces FAO 500-700 with three different testers (Mo17, B73 and V395/31)

Mini-core kolekcija za tolerantnost na sušu

Globalnim klimatskim promenama predviđeno je povećanje temperature (za 11°C do 2050. godine), smanjenje padavina, učestalije pojave ekstremnih vremenskih pojava, kao i pojava novih bolesti i insekata (IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014. godine), što povećava značaj stvaranja genotipova koji u sebi sadrže tolerantnost na ovako izmenjene stresne uslove. Kukuruz je najznačajniji usev u Srbiji, ali njegova proizvodnja i ostvareni prinosi variraju u zavisnosti od klimatskih uslova, s obzirom da su male površine u sistemima za navodnjavanje. Tako je, na primer, u 2012. godini smanjenje prosečnih prinosa i ukupne proizvodnje, kao posledica suše tokom vegetacionog perioda, iznosilo oko 50%.

Imajući u vidu da su lokalne populacije već adaptirane na naše uslove gajenja, a da uvedene mogu biti izvor poželjnih svojstava, u Institutu za kukuruz započet je rad na pronalaženju novih izvora za tolerantnost prema suši u uzorcima banke gena (Babić et al., 2011; Andjelković i Ignjatović Micić, 2012; Kravic et al., 2013; Vančetović et al., 2014). Prvo testiranje izvršeno je u uslovima kontrolisanog stresa suše u Egiptu, u eksperimentalnoj stanici Poljoprivrednog istraživačkog centra (*Agricultural Research Centre*) Sids (150 km južno od Kaira). Taj lokalitet je sa količinom padavina od 0 mm, tako da su biljke imale na raspolaganju samo vodu dobijenu kontrolisanim navodnjavanjem, koje

je prekinuto oko dve nedelje pre cvetanja. U zavisnosti od grupe zrenja, dodatno korektivno navodnjavanje slabijeg intenziteta (10 L m⁻²) primenjeno je 25-30 dana po oplodnji. Svi uzorci su vizuelno ocenjeni na sledeća svojstva: broj dana između metličenja i svilanja (*ASI-anthesis-silking interval*), zadržavanje zelenog funkcionalnog dela biljke (*stay green*), ukupan izgled biljke, broj jalovih biljaka, ozrjenost klipa i stepen nalivenosti zrna (Babic et al., 2012b; 2015). Na osnovu rezultata, odabrano je oko 600 uzoraka (9,8%) za dalja ispitivanja, od toga 356 lokalnih i 256 uvedenih genotipova. Ponovnim testiranjem u Egiptu, i u umerenom klimatu u aridnim uslovima u Skoplju i u Zemun Polju, odabran je 51 genotip sa najvećom tolerantnošću prema suši. Posle ispitivanja kombinacione sposobnosti na osnovu ukrštanja sa testerima iz tri različite heterotične grupe (*BSSS*, *Lancaster* i nezavisna), formirana je *mini-core* kolekcija od 41 genotipa (13 lokalnih populacija, 13 uvedenih populacija i 15 uvedenih inbred linija). Pored određivanja pripadnosti heterotičnim grupama, što je od velikog značaja za oplemenjivanje, veoma je značajno i izdvajanje grupe uzoraka, koji su se dobro kombinovali sa sva tri testera (Tabela 1). Sa njima su urađena dialelna ukrštanja i izdvojen nov heterotični par, Iranska (zrno u tipu zubana) x Argentinska (zrno u tipu tvrduca) populacija, za recipročnu rekurentnu selekciju (Vančetović i sar, 2015a).

Tabela 1. Grupisanje 41 uzorka kukuruza iz mini-core kolekcije za tolerantnost na sušu, u heterotične grupe na osnovu kombinacione sposobnosti

Table 1. Assignment of 41 maize accessions from the mini-core collection for drought tolerance into heterotic groups, based on their combining ability (CA)

Heterotična grupa	Broj uzoraka	Dobra KS sa
BSSS	1	Lancaster i nezavisnim
Lancaster	11	BSSS i nezavisnim
Lancaster i BSSS	7	Nezavisnim
Nepoznat	6	BSSS, Lancaster i nezavisnim
Nezavisni	6	BSSS i Lancasterom
BSSS	1	Lancaster i nezavisnim
Lancaster	11	BSSS i nezavisnim

Analizom kvaliteta zrna populacija iz *mini-core* kolekcije izdvojeni su genotipovi sa visokim sadržajem proteina, ulja, esencijalnih aminokiselinalizina i triptofana, kao i povoljnog sastava masnih kiselina (Ignjatovic Micic et al., 2015). Većina populacija je pokazala visok sadržaj triptofana (preko 0,075%), dok su visokouljane populacije imale visok sadržaj zasićenih (12,65-17,91%) i monozasićenih masnih kiselina (17,9%). Populacije koje su pokazale višestruke nutritivne prednosti mogu se koristiti u programima oplemenjivanja za stvaranje linija istovremeno tolerantnih na stres suše i poboljšanje hranljive vrednosti, što je veoma značajno u kontekstu klimatskih promena i potrebe za povećanom proizvodnjom hrane.

Mini-core kolekcija za kvalitet zrna

Testiranje na kvalitet zrna obuhvatilo je 3443 populacije, od kojih su 2149 lokalne (sa područja bivše Jugoslavije), a 1295 je

intrudukovano. Zrno populacija je analizirano NIR (*Near Infrared Spectroscopy*) metodom, a za dalji rad odabrane su populacije sa povećanim sadržajem proteina, ulja i/ili skroba, i dobre kombinacione sposobnosti sa tri nezavisna testera. Izdvojene su 352 populacije (oko 10,2%) i tako formirana *core* kolekcija imala je signifikantno ($p < 0,001$) viši sadržaj proteina, ulja i skroba u zrnu u odnosu na celu početnu kolekciju (Vančetočić et al., 2015b). Od toga je odabrano 18 populacije sa najvišim sadržajem proteina i ulja, dobrih kombinacionih sposobnosti i formirana *mini-core* kolekcija za kvalitet zrna, koja će se koristiti u programima oplemenjivanja.

Perspektive

Osnovni cilj predoplemenjivanja je formiranje novih *pool*-ova (skupova) gena za potrebe oplemenjivačkih programa. Banka gena je bogat izvor poželjnih alela za različita svojstva, a najznačajnija za naše podneblje su

tolerantnost prema suši i poboljšan kvalitet zrna.

Fenotipska i molekularna karakterizacija inbred linija iz *mini-core* kolekcije za tolerantnost na sušu, kao i pet linija osjetljivih na sušu, koristiće se za asocijativno mapiranje. U toku je i formiranje *pool*-ova sa različitim procentom odabranih uzoraka tolerantnih na sušu: 1) po 50% materijala iz banke gena i elitnog materijala, 2) 25% materijala iz banke gena i 75% elitnog materijala, i 3) 12,5% materijala iz banke gena i 87,5% elitnog materijala. Očekuje se da treći *pool* bude najpre dostupan za komercijalno oplemenjivanje, a prvi i drugi *pool* tek nakon nekoliko predoplemenjivačkih ciklusa za ovo svojstvo.

Fenotipska karakterizacija populacija dobrog kvaliteta zrna i detaljnija ispitivanja njihovog hemijskog sastava omogućiće pronalaženje izvora odgovarajućeg biohemijskog (aminokiselinskog, masnokiselinskog) sastava, koje će se koristiti kao početni material za programe oplemenjivanja na poboljšan kvalitet zrna kukuruza.

Literatura

- Almekinders CJM, Louwaars NP, de Bruijn GH (1994): Local seed systems and their importance for an improved seed supply in developing countries. *Euphytica*, 78 (3): 207-216.
- Andjelković V and Ignjatović Micić D (2012): Maize Genetic Resources-Science and benefits. ISBN 978-86-87109-07-0 (SGS).
- Andjelković V, Kravić N, Babić V, Ignjatović-Micić D, Dumanović Z, Vančetočić J (2014): Estimation of drought tolerance among maize landraces from mini-core collection. *Genetika*, Vol. 46, No.3: 775-788.
- Babić M, Anđelković V, Mladenovoć Drinić S, Konstantinov K (2011): The conventional and contemporary technologies in maize (*Zea mays* L.) breeding at Maize Research Institute, Zemun Polje. *Maydica*, 56: 155-164.
- Babić V, Ivanović M, Babić M (2012a): Nastanak i evolucija kukuruza i putevi uvođenja u naše krajeve. *Ratarstvo i povrtarstvo*, 49 (1): 92-104.
- Babić V, Vančetočić J, Prodanović S, Anđelković V, Babić M, Kravić N (2012b): The identification of drought tolerant maize accessions by the two-step cluster analysis. *Romanian agricultural research* 29: 53-61.
- Babić V, Vančetočić J, Prodanović S, Kravić N, Babić M, Anđelković V (2015): Numerical Classification of Western Balkan Maize Drought Tolerant Landraces. *Journal of Agricultural Science and Technology*, Vol 17 (2): 455-468.
- Bragdon S (2004): International Low of Relevance to Plant Genetic Resources: A Practical Review for Scientists and other Professionals working with Plant Genetic Resources. *Issues in Genetic Resources* No.10, March 2004, Bragdon S (ed.), International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, pp. 124.
- Brown AHD (1989): Core collection: a practical approach to genetic resources management. *Genome*, 31: 818-824.
- Buckler ES and NM Stevens (2006): Maize Origins, Domestication and Selection, ed. Darwin's Harvest, Columbia University Press, NY, USA.
- Carena MJ, Yang J, Caffarel C, Mergoum, Hallauer AR (2009): Do different

- production environments justify separate maize breeding programs? *Euphytica*, 169: 141-150.
- FAOSTAT (2010): www.fao.org
- Frankel OH (1984): Genetic Perspectives of Germplasm Conservation. In: Genetic Manipulation: Impact on Man and Society, W Arber, K Llimensee, WJ Peacock, P Starlinger (eds)., Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp.161-170.
- Gousnard B, Dallard J, Bertin P, Boyar A, Charcosset A (2005): European Maize landraces: genetic diversity, core collection definition and methodology of use. *Maydica*, 50: 225-234.
- Ignjatovic-Micic D, Vancetovic J, Trbovic D, Dumanovic Z, Kostadinovic M, Bozinovic S (2015): Grain Nutrient Composition of Maize (*Zea mays* L.) Drought-Tolerant Populations. *J. Agric. Food Chem.*, 63: 1251-1260.
- Kravić N, Marković K, Andjelković V, Hadži-Tašković Šukalović V, Babić V, Vuletić M (2013): Growth, proline accumulation and peroxidase activity in maize seedlings under osmotic stress. *Acta Physiologiae Plantarum* 35 (1): 233-239.
- Li Y, Shi Y, Cao Y, Wang T (2004): Establishment of a core collection for maize germplasm preserved in Chinese National Genbank using geographical distribution and characterization data. *Gen. Res. Crop Evol.*, 51: 845-852.
- Malosetti M and T Abadie (2001): Sampling strategy to develop a core collection of Uruguayan maize landraces based on morphological traits. *Gen. Res. Crop Evol.*, 48: 381-390.
- Matsuoka Y, Vigouroux Y, Goodman MM, Sanchez GJ, Buckler E, Doebley J (2002): A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proc. Nat. Ac. Sci. USA*, 99: 6080-6084.
- Nass LL and E Paterniani (2000): Pre-breeding: a link between genetic resources and maize breeding. *Sci. Agric.*, 57: 581-587.
- Ortiz R, Taba S, Chávez Tovar VH, Mezzalama M, Xu Y, Yan J, Crouch JH (2010): Conserving and enhancing maize genetic resources as global public goods A perspective from CIMMYT. *Crop Sci.*, 50:13-28.
- Pollak LM (2003): The history and success of the public-private project on germplasm enhancement of maize (GEM). *Adv. Agron.*, 78: 45-48.
- Radović G and D Jelovac (1995): Identification of the heterotic pattern in Yugoslav maize germplasm. *Maydica*, 40: 223-227.
- Radović G, Muminović J, Jelovac D (2000): Local maize germplasm-potentially valuable breeding material. *Genetika*, 52: 221-234.
- Salhuana W (1998): Conservation, Evaluation and Use of Maize Genetic Resources. In: Regeneration of Seed Crops and Their Wild Relatives, JMM Engels and Ramanatha R. Rao (eds). *Proc. Consultation Meeting*, December 4-7, 1995.
- Salhuana W, Sevilla R, Eberhart SA (1997): LAMP (Latin American Maize Project) Final Report. Salhuana W, Sevilla R, Eberhart SA (eds), Pioneer Hi-Bred International Spec. Pub. G12083, Johnston, IA, USA.
- Taba S, Diaz J, Franco J, Crossa J (1998): Evaluation of Caribbean maize accessions to develop a core subset.

- Crop Sci., 38: 1378-1386.
- Taba S, Eberhart SA, Pollak LM (2004): Germplasm resources. In: Smith CW, Betrán J, Runge ECA (eds). Corn: origin, history, technology and production. Wiley, Hoboken.
- Vancetovic J, Ignjatovic-Micic D, Bozinovic S, Babic M, Filipovic M, Grcic N, Andjelkovic V (2014): Grain quality of drought tolerant accessions within the MRI Zemun Polje maize germplasm collection. Span. J. Agric. Res., 12(1): 186-194.
- Vancetovic J, Bozinovic S, Ignjatovic-Micic D, Delic N, Kravic N, Nikolic A (2015a): A diallel cross among drought tolerant maize populations. Euphytica, 205: 1-16.
- Vančetović J, Ignjatović-Mićić D, Božinović S, Delić (2015b): Maize core collection for increased grain quality. Maydica, 60: 1-10.

GENETIC RESOURCES IN MAIZE BREEDING

Violeta Andelković, Vojka Babić, Natalija Kravić

Summary

Maize, wheat and rice are the most important cereals grown in the world. It is predicted that by 2025 maize is likely to become the crop with the greatest production globally. Conservation of maize germplasm provides the main resources for increased food and feed production. Conservation in gene banks (*ex-situ*) is dominant strategy for maize conservation. More than 130 000 maize accessions, e.g. about 40% of total number, are stored in ten largest gene banks worldwide and Maize Research Institute Zemun Polje (MRIZP) gene bank, with about 6000 accessions, is among them. Organized collecting missions started in 1961. in the former Yugoslavian territory, and up today, more than 2000 local maize landraces were stored. Pre-breeding activities that refer to identification of desirable traits from unadapted germplasm within genebank, result in materials expected to be included in breeding programs. Successful examples are LAMP, GEM and GENRES projects. At the end of XX century, at MRIZP genebank two pre-breeding activities were undertaken: *eco-core* and *elite-core* collections were created and landraces fulfilled particular criteria were chosen. In the last decade, MRIZP genebank collection was used for identification of sources for drought tolerance and improved grain quality. According to agronomic traits and general combining ability, two *mini-core* collections were created and included in commercial breeding programs.

Key words: conservation and utilization PGR, core collections, pre-breeding, *Zea mays* L.

Primljen: 21.06.2017.

Prihvaćen: 23.07.2017.